

ნოდარ ჩხოლარია

ავტომატიზებული საჩარხო სისტემების ფუნქციონალური
და სტრუქტურული მოდელირება და პარამეტრული
სინთეზის ამოცანები

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორ ე ფ ე რ ა ტ ი

სადოქტორო პროგრამა: მანქანათმცოდნეობა, მანქანათმშენებლობა და
საწარმოო ტექნოლოგიური პროცესები, შიფრი 0408

თბილისი
2016 წელი

ხელმძღვანელი: ტ.მ.დ., პროფესორი თამაზ მჭედლიშვილი

რეცენზენტები: ტ.მ.კ. პროფ. გივი ხვიჩია

ტ.მ.კ. ნუგზარ სულამანიძე

დისერტაციის დაცვა შედგება 2016 წლის ” 9 ” ივლისს, 15 საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო და
მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს სადისერტაციო
კოლეგიის სხდომაზე.

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 68^ა.

I კორპუსი, აუდ. 617 გ.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი
პროფესორი

ნ. ნათბილაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

ნაშრომის აქტუალობა. თანამედროვე მანქანათმშენებლობისათვის დამახასიათებელია წარმოების ეფექტურობის და გამოშვებული პროდუქციის ხარისხის ამაღლების პრობლემა, რომელიც ამაღლებული ტექნიკური მახასიათებლების მქონე ცალკეული მანქანების და მანქანათა სისტემების შექმნასთან და მათი გამოყენების სფეროს გაფართოებასთან ერთად პირველ რიგში ეფუძნება წარმოების ინტენსიურ ფაქტორებს: შრომის მწარმოებლურობის და ყველა სახის საქმიანობის ეფექტურობის ამაღლებას, საშუალებების, რესურსების და შრომის იარაღების ეკონომიას.

მანქანათა სისტემების შექმნა დაკავშირებულია თანამედროვე ადამიანის საწარმოო მოღვაწეობის ყველა სფეროსთან და მოიცავს მანქანათა პროექტირებასთან, მათი ფუნქციონირებისა და მართვის გამოკვლევებთან, ტექნოლოგიათა შემუშავებასთან დაკავშირებულ მრავალ საკითხებს. უაღრესად მნიშვნელოვანია არსებული მოწყობილობების სწორი და სისტემური გამოყენების, მისი რაციონალური დატვირთვის, შეთანწყობილი ფუნქციონირების და ეფექტური ექსპლუატაციის ორგანიზაციული პრობლემები.

გრძელდება თანამედროვე მანქანების და მანქანათა კომპლექსების უმნიშვნელოვანესი სტრუქტურული შემადგენელი ნაწილების - ამძრავთა ავტომატიზებული სისტემები შემდგომი სტრუქტურული და პარამეტრული სრულყოფა. შეგვიძლია აღვნიშნოთ, რომ თანამედროვე მანქანების ტექნიკური დონის ამაღლება მნიშვნელოვან წილად დაკავშირებულია მათში გამოყენებული ამძრავთა სისტემების ფუნქციონალური შესაძლებლობების და მახასიათებლების სრულყოფასთან.

ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს ავტომატიზებული საჩარხო სისტემების (ავტომატიზებული ჩარხების, საჩარხო ხაზების და კომპლექსების), ფუნქციონალური და სტრუქტურული აგების, მწარმოებლურობის ოპტიმიზაციურ გაანგარიშების, ამ სისტემათა ავტომატიზებული ამძრავების დინამიკური მოდელირებისა და ოპტიმიზაციური კვლევის მეთოდების და მეთოდიკების შემუშავება, მიმართული საპროექტო გადაწყვეტილებების ხარისხისა და სამეცნიერო დასაბუთებულობის ეფექტურობის ამაღლებისაკენ.

დასახული მიზნის მიღწევისათვის კვლევის ამოცანებში ჩართულია:

- არსებული ავტომატიზებული და ავტომატური ტექნოლოგიურ მანქანათა სისტემების შემადგენლობისა და სტრუქტურის ანალიზი, წაყენებული მოთხოვნების და ფუნქციონირების შემფასებელი მახასიათებლების გამოვლენა;
- ტექნოლოგიურ მანქანათა სისტემების პროექტირების პროცესის სისტემური მიდგომის ხარისხობრივი ანალიზი და უკანასკნელის განვითარების თვალსაზრისით თანამედროვე ჩარხების და საჩარხო კომპლექსების მექანიზმებისა და ამძრავთა სისტემების პროექტირებასთან და დინამიკურ გამოკვლევებთან დაკავშირებული ნაშრომების მიმოხილვა;
- ძირითადი კანონზომიერებების გამოვლენა და მრავალსაიარაღო საჩარხო სისტემების და ავტომატური ხაზების მიერ განხორციელებული საწარმოო პროცესების მწარმოებლურობის მაჩვენებლებთან და მჭრელი იარაღების, მექანიზმებისა და მოწყობილობების მუშაობის საიმედოობასთან დამაკავშირებელი ფუნქციონირების მათემატიკური მოდელების აგება;
- ტექნოლოგიური პარამეტრების გაანგარიშების მეთოდების და მეთოდიკების შემუშავება მაქსიმალური მწარმოებლურობის პირობიდან გამომდინარე სისტემებისათვის, რომლებშიც გამოიყენება მჭრელი იარაღების, მექანიზმებისა და მოწყობილობების მწყობრიდან გამოსვლის მომენტებით დაკავშირებული მომსახურების სქემა;

- მწარმოებლურობის ამსახველი ძირითადი მათემატიკური დამოკიდებულებების გამოვლენა, ფუნქციონირების მოდელების აგება, კვლევის მეთოდების და მეთოდიკების შემუშავება. მჭრელი იარაღების, მექანიზმებისა და მოწყობილობების საიმედოობის მახასიათებლებთან ფუნქციონალურ კავშირში სისტემებისათვის, რომლებშიც მჭრელი იარაღების მიმართ გამოიყენება პარალელური და მექანიზმებისა და მოწყობილობების მიმართ კი მწყობრიდან გამოსვლასთან დაკავშირებული მომსახურების სქემა;
- დინამიკის მათემატიკური მოდელირება და სინთეზის მეთოდოლოგიის შემუშავება მოცემული გარდამავალი პროცესის მიხედვით. დრეკადრგოლებიანი მექანიკური ნაწილის შემცველ მუშა ორგანოს კუთხური სიჩქარის სტაბილიზაციის ამძრავთა ელექტრომექანიკურ სისტემაში;
- ამძრავთა ელექტრომექანიკური სისტემების მათემატიკური მოდელირება და კვლევა დრეკადობისა და ღრეჩოების გათვალისწინებით ამძრავთა მექანიკურ ნაწილში .

ნაშრომის სამეცნიერო ღირებულება მდგომარეობს:

- მრავალიარადისი საცარხო სისტემების და ავტომატური ხაზების მიერ განხორციელებული საწარმოო პროცესების მწარმოებლურობის მაჩვენებლებთან და მჭრელი იარაღების, მექანიზმებისა და მოწყობილობების მუშაობის საიმედოობასთან დაკავშირებული ფუნქციონირების მათემატიკური მოდელების აგებასთან და მათი გამოყენებით ოპტიმიზაციური კვლევის ამოცანები გადაჭრასთან მიმართებაში გამოყენებულ ორიგინალურ მეთოდოლოგიურ მიდგომებში;
- ცალკეული მათემატიკური მოდელების, ცალკეული პროცედურების და მეთოდიკების ანალიზთან, დრეკადრგოლებიანი და ღრეჩოებიანი შემცველი მექანიკური ნაწილის მქონე საჩარხო ამძრავთა ელექტრომექანიკურ სისტემებთან მიმართებაში დინამიკის მათემატიკური მოდელების და მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის მეთოდში სასურველი პროცესების ფორმირების და სინთეზირებადი პარამეტრების ძიების მეთოდების აგების მეთოდოლოგიურ მიდგომებში.

ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულებაა ავტომატიზებული საჩარხო კომპლექსების და საჩარხო ხაზების მწარმოებლურობის და მათი ცალკეული ამბრავთა სისტემების ოპტიმიზაციური გაანგარიშებისა და კვლევის ორიგინალური მეთოდები და მეთოდიკები.

სამეცნიერო ღირებულებების, დასკვნებისა და რეკომენდაციების უტყუარობა უზრუნველყოფილია მათემატიკური მოდელირების და ოპტიმიზაციური სინთეზის მეცნიერულად დასაბუთებული მეთოდების გამოყენებით.

ნაშრომის აპრობაცია. ნაშრომის ძირითადი შედეგები მოხსენებული იქნა საერთაშორისო კონფერენციაზე: 21-ე საუკუნის მეცნიერების და ტექნოლოგიების განვითარების ძირითადი პარადიგმები“, 2014 წ.

პუბლიკაციები. დისერტაციის მასალები წარმოდგენილია 1 მონოგრაფიაში და 6 სამეცნიერო სტატიაში.

ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა. სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავალის, ლიტერატურის მიმოხილვის, დასკვნებისა და განსჯისა და საერთო დასკვნებისაგან. წარმოდგენილია 150 გვერდზე, შეიცავს 22 ნახაზს, 6 ცხრილს და ლიტერატურის სიას 164 დასახელებით.

ნაშრომის ძირითადი შინაარსი

შესავალ ნაწილში დასაბუთებულია სადისერტაციო ნაშრომის აქტუალურობა.

ლიტერატურის მიმოხილვა. განხილულია ავტომატური და ავტომატიზებული საჩარხო სისტემების აგების ზოგადი კონცეპტუალური მიდგომები. ჩატარებულია თანამედროვე საჩარხო სისტემების: ავტომატური ხაზების, მოქნილი საწარმოო მოდულების, მოქნილი ავტომატური ხაზების და მათში შემავალი რობოტოტექნიკური კომპლექსების, მოქნილი ავტომატიზებული უბნების სტრუქტურული სქემების მიმოხილვა.

გაანალიზებულია სისტემური მიდგომა საჩარხო სისტემების პროექტირებისადმი.

აღნიშნულია, რომ საჩარხო სისტემების შემუშავებისათვის იყენებენ ბლოკურ–იერარქიულ მიდგომებს, რომელთა ჩარჩოებში საჩარხო სისტემა წარმოგვიდგება, როგორც ოთხდონიანი იერარქიული კომპლექსი.

ყველა დონეებს შეესაბამებიან თავისი მათემატიკური მოდელები, ამოცანათა თავისი წრე და ამოხსნის მეთოდები. საჩარხო სისტემა არის მაღალი დონის ელემენტი და ჩარხის დეტალები კიდევ მიეკუთვნებიან უმცირეს დონეს.

ჩატარებულია მექანიზმების, ამძრავთა სისტემების და მანქანების პროექტირებისა და დინამიკური კვლევის არსებული მეთოდების მიმოხილვა, რომელთა მეშვეობით შესაძლოა რთული მრავალბმული ავტომატიზებული ამძრავთა სისტემების და მთლიანობაში საკვლევი მოწყობილობების შემდგომი სრულყოფა.

ნაშრომის ძირითად ნაწილში პირველ რიგში აღნიშნულია, რომ საჩარხო სისტემების ეფექტურობის ამაღლების ერთ–ერთი მნიშვნელოვანი მახასიათებელია მწარმოებლურობა, რომელიც თავის მხრივ მრავალწილად დაკავშირებულია საკვლევი სისტემების საიმედოობასთან. აღნიშნულთან დაკავშირებით განხილული იქნა საიმედოობის მათემატიკური თეორიის ძირითადი კანონზომიერებები, მათემატიკური დამოკიდებულებები და მწარმოებლურობის მათემატიკური გამოსახულებები.

შემუშავებულია ავტომატიზებული საჩარხო სისტემების მწარმოებლურობის მათემატიკური გამოსახულებების აგების მეთოდოლოგიური მიდგომები ფუნქციონალურ კავშირში იარაღებისა და მექანიზმების საიმედოობის პარამეტრებთან, რომლებიც თავის მხრივ გარკვეულწილად განისაზღვრებიან სისტემის ტექნოლოგიური პარამეტრებით.

თუ განვიხილავთ m მუშა კვანძებისაგან (მექანიზმებისაგან და მოწყობილობებისაგან) და n ინსტრუმენტებით შემდგარ ბლოკირებული საჩარხო სისტემის მუშაობას, მაშინ საკითხი ასეთი დაყენებისას სისტემის ყველა ელემენტები საიმედოობის თვალსაზრისით შეერთებულნი არიან მიმდევრობითად და ნებისმიერი ელემენტის მტყუნება იწვევს მთელი სისტემის მტყუნებას. ამ შემთხვევაში სისტემის უმტყუნებო მუშაობის

ალბათობა განისაზღვრება ყოველი მისი ელემენტის უმტყუნებო მუშაობის ალბათობათა ნამრავლით:

$$P_{\Pi}(t) = \prod P_{\Pi\Pi}(t) P_{\Pi O}(t), \quad (1)$$

სადაც: $P_{\Pi}(t)$ – მთლიანი სისტემის უმტყუნები მუშაობის ალბათობა და $P_{\Pi\Pi}(t)$ და $P_{\Pi O}(t)$ – შესაბამისად მჭრელი იარაღებისა და მოწყობილობების უმტყუნები მუშაობის ალბათობებია.

თავის მხრივ

$$\left. \begin{aligned} P_{\Pi\Pi}(t) &= \prod_i^n P_{\Pi\Pi i}(t), \\ P_{\Pi O}(t) &= \prod_i^m P_{\Pi O i}(t). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

იარაღის უმტყუნები მუშაობის დროის განაწილების დიფერენციალური ფუნქციები მრავალ შემთხვევაში კარგად აღიწერებიან განაწილების ნორმალური კანონით, მაგრამ გარკვეულ შემთხვევებში მიზანშეწონილია სხვა კანონების, კერძოდ ვეიბულის და ლოგარითმული ნორმალური, გამოყენება. თავის მხრივ მოწყობილობათა უმტყუნები მუშაობათა ალბათობები $P_{Oo}(t)$ და, როგორც მექანიზმებისა და მოწყობილობების $F_{Bo}(t)$, ასევე იარაღების F_{Bu} აღდგენადობების ალბათობები კარგად აპროქსიმირდებიან შემდეგი სახის ექსპონენციალური კანონზომიერებებით:

$$P_{Oo}(t) = e^{-\lambda_{Oo}t}, \quad F_{Bo}(t) = e^{\mu_{Oo}t},$$

$$F_{Bu}(t) = e^{-\mu_u t},$$

სადაც: λ_{Oo} – მოწყობილობა მტყუნებების ნაკადები;

μ_{Oo} და μ_u – შესაბამისად მოწყობილობების და იარაღების აღდგენადობის ნაკადები:

$$\lambda_{Oo} = \frac{1}{T_0}; \quad \mu_u = \frac{1}{T_{uB}}; \quad \mu_{Oo} = \frac{1}{T_{OoB}};$$

T_0 – მოწყობილობის უმტყუნებო მუშაობის საშუალო დრო; T_{uB} და T_{OoB} – იარაღისა და მოწყობილობის აღდგენადობათა საშუალო დროები.

თუ ჩვენს მიერ შერჩეულია განაწილების ნორმალური კანონი, მაშინ

$$P_{nu}(t) = 1 - \int_0^{k_i t} f_i(x) dx, \quad (3)$$

სადაც: $f_i(x)$ – შემთხვევითი სიდიდის განაწილების დიფერენციალური ფუნქცია; k_i – პროპორციულობათა კოეფიციენტები, განსაზღვრულნი ცალკეული ოპერაციის სამანქანო დროის შეფარდებით განმსაზღვრელი ოპერაციის სამანქანო დროსთან, რომლებიც ზოგადი მიდგომით თავის მხრივ წარმოადგენენ i -ური ოპერაციის სიჩქარეთა ფუნქციებს.

რაც შეეხება მექანიზმებისა და მოწყობილობების მუშაობას მათი მუშაობის დრო დამუშავების ციკლის ფარგლებში განისაზღვრებიან:

1) დროის მონაკვეთით t_w განმსაზღვრელი ოპერაციის დამხმარე τ დროის ფარგლებში და 2) დროის მონაკვეთი $t_{\eta} = \tau_{*1} + \tau_{*2}$.

აქ τ_{*1} და τ_{*2} შესაბამისად დამხმარე τ და სამანქანო $T_{მანქ}$ დროთა ფარგლებში მექანიზმების მიერ მუშაობების დროის მონაკვეთებია. აქ

$$\tau_{*2} = \frac{R_i}{V_i},$$

სადაც: R_i და V_i – შესაბამისად იარაღის დამამუშავებელ დეტალთან კონტაქტის წერტილის გზის სიგრძე და i -ური იარაღის ჭრის სიჩქარე. თავის მხრივ, თუ გავითვალისწინებთ V_i -სა და V -ის თანაკავშირის კანონზომიერებას

$$V_i = A_i V,$$

სადაც V -არის ჭრის სიჩქარე განმსაზღვრელ ოპერაციაზე, შეგვიძლია დავწეროთ

$$\tau_{*2} = \frac{R_i}{A_i V} = \frac{K_{\tau^*}}{V}.$$

ზემოაღნიშნულის თანახმად

$$\sum_i t_u = \sum_i \frac{a_i T_c}{T_{pi}}, \quad (4)$$

$$\sum_j t_{os} = \sum_q t_{osq} + \sum_{\gamma} t_{os\gamma} = \sum_q \frac{t_{wq} a_{osq}}{T_{osq}} + \sum_{\gamma} \left(\frac{\tau_{*1\gamma} + K_{\tau^* \gamma} \frac{1}{V}}{T_{os\gamma}} \right) a_{os\gamma} =$$

$$= \sum_q \frac{t_{\pi q} a_{o\sigma q}}{T_{o\sigma q}} + \sum_\gamma \frac{\tau_{*1\gamma} a_{o\sigma \gamma}}{T_{o\sigma \gamma}} + \sum_q \frac{a_{o\sigma \gamma} K_{T^* \gamma}}{T_{o\sigma \gamma} V}, \quad (5)$$

სადაც: T_{pi} – i -ური იარაღის უმტყუნებო მუშაობის დრო; a_i – აღდგენის (i -ური იარაღის შეცვლის, რეგულირებისა და გაწყობის) საშუალო დრო; $T_{o\sigma q}$ და $T_{o\sigma \gamma}$ – უმტყუნებო მუშაობის საშუალო დროები; $a_{o\sigma q}$ და $a_{o\sigma \gamma}$ – აღდგენის საშუალო დროები.

ამის შემდეგ ვიყენებთ რა ჭრის სიჩქარისა და მედეგობას შორის არსებულ ცნობილ დამოკიდებულებებს და ცალკეული იარაღები ჭრის სიჩქარეთა ურთიერთკავშირს ჩარხი-ავტომატის სტრუქტურაში მწარმოებლურობის გამოსახულება მიიღებს სახეს:

$$Q_n = \frac{V}{R + \tau V + \sum_i D_i V^{\frac{1}{m_i}} + V \sum_q \frac{t_{\pi q} \cdot a_{o\sigma q}}{T_{o\sigma q}} + V \sum_j \frac{\tau_{*1\gamma} a_{o\sigma \gamma}}{T_{o\sigma \gamma}} + V \sum_\gamma \frac{K_{\tau^* \gamma} \cdot a_{o\sigma \gamma}}{T_{o\sigma \gamma} V}}, \quad (6)$$

სადაც

$$D_i = \frac{a_i k_i R}{T_{io}} \left(\frac{A_i}{V_{io}} \right)^{\frac{1}{m_i}}. \quad (7)$$

შემდგომ გადავდივართ გამოსახულებაზე

$$\frac{\partial \ln Q_n}{\partial v} = \frac{1}{V} - \frac{\tau + \sum_i D_i V^{\frac{1}{m_i}-1} + \sum_q \frac{t_{\pi q} \cdot a_{o\sigma q}}{T_{o\sigma q}} + \sum_j \frac{\tau_{*1} a_{o\sigma \gamma}}{T_{o\sigma \gamma}}}{R + \tau V + \sum_i D_i V^{\frac{1}{m_i}} + V \sum_q \frac{t_{\pi q} \cdot a_{o\sigma q}}{T_{o\sigma q}} + V \sum_j \frac{\tau_{*1} a_{o\sigma \gamma}}{T_{o\sigma \gamma}} + \sum_\gamma \frac{K_{\tau^* \gamma} \cdot a_{o\sigma \gamma}}{T_{o\sigma \gamma}}}. \quad (8)$$

(8)–ის ნულთან გატოლებით და შემდგომში გარდაქმნების გამოყენებით დავდივართ ტოლობაზე

$$\left(\frac{1}{m_i} - 1 \right) \sum_i D_i V^{\frac{1}{m_i}} = R + \sum_j \frac{K_{\tau^* \gamma} a_{o\sigma \gamma}}{T_{o\sigma \gamma}}, \quad (9)$$

სადაც

$$D_i = \frac{D_{ik}}{k_i \left(\frac{1}{m_i} - 1 \right)}, \quad (10)$$

საწარმოო ტექნოლოგიური სისტემის-პროცესი-საჩარხო მოწყობილობების ზემოთ ჩამოყალიბებული პარამეტრული ოპტიმიზაციის

მეთოდის აპროქსიმაციისათვის ნაშრომში განხილულია ვერტიკალურ მრავალშპინდელიან ჩარხ-ავტომატზე განხორციელებული მრავალიარადიანი საწარმოო პროცესის ოპტიმიზაციის მაგალითი მწარმოებლურობის კრიტერიუმის თვალსაზრისით.

მეორე მდგომარეობით V_j განსაზღვრისათვის ვიყენებთ პირობებს.

$$\frac{R_1}{V_I} + \tau_1 = \frac{R_3}{V_{II}} + \tau_3; \quad (11)$$

$$\frac{R_5}{V_{III}} + \tau_5 = \frac{R_3}{V_{II}} + \tau_3; \quad (12)$$

$$\frac{R_7}{V_{IV}} + \tau_7 = \frac{R_3}{V_{II}} + \tau_3, \quad (13)$$

$$\frac{R_8}{V_V} + \tau_8 = \frac{R_3}{V_{II}} + \tau_3. \quad (14)$$

შემდგომში ჩაწერათა გამარტივებისათვის განმსაზღვრელი ოპერაციის V_{II} სიჩქარეს აღვნიშნავთ სიმბოლოთი V .

უკანასკნელად მწარმოებლურობის გამოსახულება ჩაიწერება ასე:

$$Q_n = \frac{\frac{R + \tau V}{V}}{\frac{\frac{R + \tau V}{V} + B_1^* \left(\frac{1}{\frac{R}{V} + \Delta \tau_I} \right) + B_{II} V^{\frac{1}{m}-1} + B_{III}^* \left(\frac{1}{\frac{R}{V} + \Delta \tau_{III}} \right) + B_{IV}^* \left(\frac{1}{\frac{R}{V} + \Delta \tau_{IV}} \right) + B_V^* \left(\frac{1}{\frac{R}{V} + \Delta \tau_V} \right) + F_{ogq} + F_{og\gamma 0} + F_{ogv}(V)}, \quad (15)$$

მიღებული გამოსახულება საშუალებას იძლევა მოვიძიოთ მწარმოებლურობის მაქსიმალური მნიშვნელობასთან დაკავშირებული V -ის მნიშვნელობა პროცედურების გამოყენებით, რომლებიც იქნა გამოყენებული წინამორბედ პარაგრაფებში.

ჩვენი პარაგრაფის ბოლოში განხილულია აგრეთვე ჩარხთაშორისი მაგროვებლების მქონე სისტემის მოდელირების საკითხები.

ზემოთ მოყვანილ ამოცანებში განხილული იქნა საჩარხო სისტემების მუშაობის ისეთი რეჟიმები, რომლებიც საიარალო გაწყობის ყოველი იარაღი იცვლება მისი მწყობრიდან გამოსვლასთან შესაბამისად. იგი წარმოადგენს ტექნოლოგიური პროცესის ერთ-ერთ ძირითად სქემას. ასეთი სქემა უაღრესად ხელსაყრელია იმ შემთხვევებში, როდესაც ჩარხის იარაღების მედეგობა მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან. ასეთი სქემის პარალელურად ლითონდამუშავების პრაქტიკაში ფართოდ გავრცელებულია ტექნოლოგიური პროცესის ორგანიზაციის სხვა სქემა, რომელსაც საფუძვლად უდევს იარაღების ეგრეთ წოდებული პარალელური ცვლა. პარალელური შეცვლისას ჩარხი მუშაობს ერთი რომელიმე იარაღის მწყობრიდან გამოსვლამდე, რის შემდეგაც მას აჩერებენ და იცვლება ყველა იარაღები.

აღნიშნულთან დაკავშირებით პირველ რიგში ვიხილავთ ამოცანას, რომელშიც მჭრელ იარაღებთან მიმართებაში ვიყენებთ პარალელურ შეცვლას და მუშა კვანძებთან მიმართებაში კი შეცვლას ყოველი იარაღის მწყობრიდან გამოსვლის მიხედვით.

ასეთი მიდგომისას პოტენციური მწარმოებლურობა შეგვიძლია გამოვსახოთ დამოკიდებულებით

$$Q_n = \frac{k_{zu} k_{zob}}{T_{cm}} \quad (16)$$

სადაც k_{gu} – იარაღების მზადყოფნის კოეფიციენტი, k_{gob} – მოწყობილობის მზადყოფნის კოეფიციენტი.

ჩატარებული გამოკვლევების შედეგად მიღებული იქნა მწარმოებლურობის გამოსახულება.

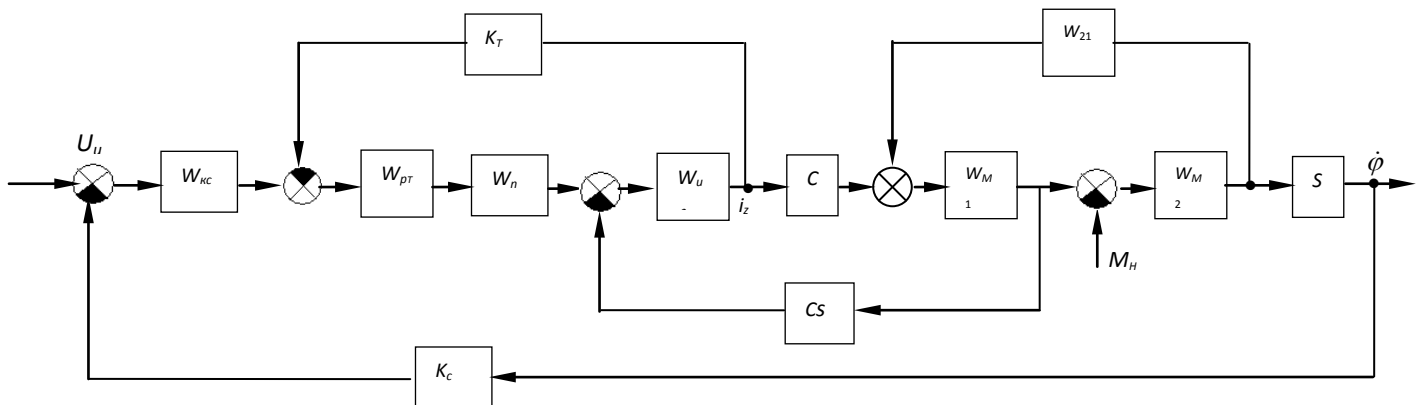
ამძრავთა სისტემის სრულყოფის თვალსაზრისით ნაშრომში განხილულია საჩარხო ავტომატიზებული ელექტრომექანიკური სისტემების დინამიკური მოდელირება და მათი დინამიკური მაჩვენებლების შემდგომი სრულყოფის სამეცნიერო საკითხები.

ნახ. 1 მოყვანილია მექანიკურ ნაწილში დრეკადი რგოლების შემცველი ელექტრომექანიკური სისტემის სტრუქტურული სქემა, რომელიც ხასიათდება

იმით, რომ სისტემის სტრუქტურაში წარმოდგენილია მიმდევრობითი მაკორექტირებელი რგოლები სიჩქარის კონტურის Π და დენის კონტური Π რეგულატორების სახით. უკანასკნელნი ნახ. 2 აღნიშნულები არიან W_{pc} და W_{pr} სიმბოლოები.

ნაშრომში განხილულია საკვლევი სისტემის ხარისხობრივი მაჩვენებლების ამაღლების ამოცანა სისტემის სტრუქტურაში მოდალური მართვის თეორიის შესაბამისად პარალელური მაკორექტირებელი უკუკავშირების შემოტანის საფუძველზე.

ამასთან ვთვლით, რომ დენის ჩაკეტილი კონტურის პარამეტრები წარმოადგენენ შერჩეულებს დაქვემდებარებული რეგულირების ცნობილი თეორიის შესაბამისად და საძიებლების სახით წარმოგვიდგებიან სიჩქარის Π – რეგულატორის (კოეფიციენტი K_{pc}) და პარალელური უკუკავშირების β_i გადამცემი კოეფიციენტები.



ნახ. 1. სისტემის სტრუქტურული სქემა

აქვე აღვნიშნავთ, რომ K_c – სიჩქარის უკუკავშირის გადამცემი კოეფიციენტია.

განხილვადი სისტემის დინამიკა პარალელური უკუკავშირების და სიჩქარის Π – რეგულატორის გათვალისწინების აღიწერება განტოლებათა სისტემით:

$$u_c = K_{pn} \varepsilon; \quad (17)$$

$$\varepsilon = u_3 - K_c \dot{\phi}_2 - g(t); \quad (18)$$

$$T_{pT} \dot{u}_T = K_{pT} T_{pT} \varepsilon_T - K_{pT} \varepsilon_T; \quad (19)$$

$$\varepsilon_T = u_c - K_T i_{\text{я}} ; \quad (20)$$

$$T_n \dot{u} + u = K_c u_T ; \quad (21)$$

$$T_{\text{я}} \frac{di_{\text{я}}}{dt} + i_{\text{я}} = \frac{1}{R_{\text{я}}} u - \frac{c}{R_{\text{я}}} \dot{\phi} = K_{\text{я}} u - K_{\text{я}} c \dot{\phi} ; \quad (22)$$

$$I_1 \ddot{\phi}_1 + b_{\phi 1} \dot{\phi}_1 + c_{12} \phi_1 = C i_{\text{я}} + b_{12} \dot{\phi}_2 + c_{12} \phi_2 ; \quad (23)$$

$$I_2 \ddot{\phi} + b_{\phi 2} \dot{\phi}_2 + c_{12} \phi_2 = -M_{\text{н}} + b_{12} \dot{\phi}_1 + c_{12} \phi_1 , \quad (24)$$

$$\text{სადაც: } g(H) = \beta_1 \ddot{\phi}_2 + \beta_2 \dot{\phi}_1 + \beta_3 C_{12} \phi + \beta_4 i_{\text{я}} + \beta_5 u + \beta_6 u_T .$$

მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის ამოცანის ამოხსნის გამოსახულება $\varphi_{2\text{ж}}(t)$ და უკანასკნელთან შესაბამისად ვავლენთ შუალედური კოორდინატების სასურველ გამოსახულებებს:

φ_1 , $i_{\text{я}}$, u და u_T , რომლებსაც შემდგომში ვაფიქსირებთ «*» ინდექსების მეშვეობით:

$$\ddot{\varphi}_{2\text{ж}}(s) = s^2 \varphi_{2*}(s) ; \quad (25)$$

$$\omega_{1\text{ж}}(s) = \dot{\varphi}_{1*}(s) = A_1(s) \varphi_{2*}(s) = A_1 \omega_{2*}(s) ; \quad (26)$$

$$C_{12} \Delta \varphi_{\text{ж}}(s) = C_{12} [\varphi_{1*}(s) - \varphi_{2*}(s)] ; \quad (27)$$

$$i_{\text{яж}}(s) = A_3(s) \varphi_{2*}(s) ; \quad (28)$$

$$U_{\text{ж}}(s) = A_4(s) \varphi_{2*}(s) ; \quad (29)$$

$$U_{T\text{ж}}(s) = A_5(s) \varphi_{2*}(s) , \quad (30)$$

სადაც ω_1 და ω_2 – კუთხური სიჩქარეები.

რეგულირების საკვლევი სისტემის მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის პროცედურების რეალიზაციისათვის წარმოსახვით სიხშირეთა მახასიათებლების აპარატის გამოყენებით პირველ რიგში ვწერთ კოორდინატთა საწყის მიახლოვებით ტოლობას

$$\omega_2(s) \approx \omega_{2*}(s) , \quad (31)$$

სადაც $\omega_2(s)$ – რეგულირებადი კოორდინატის გამოსახულება, $\omega_{2\text{ж}}(s)$ – გამოსავალი კოორდინატის სასურველი გამოსახულება.

სინთეზის მოყვანილი მეთოდოლოგია საშუალებას იძლევა ჩაუტაროთ ოპტიმიზაციური კვლევა სისტემებს, რომელთა ძირითადი

ფუნქციაა მოთვალთვალე მოძრაობა. ასეთი სახის სისტემებმა ფართო გამოყენება ჰპოვეს ჩარხებისა და საჩარხო ხაზების მიწოდებათა კინემატიკურ ხაზებში.

ზემოთ მოყვანილი იქნა მექანიკურ ნაწილში დრეკადრგოლებიან ამძრავთა ელექტრომექანიკური სისტემების სტრუქტურული სქემები, რომლებშიც მექანიკური ნაწილი (მნ) აღიწერება ორმასიანი მოდელის შემდეგი სახის დიფერენციალური განტოლებებით:

$$I_1\ddot{\phi}_1 + b_1\dot{\phi}_1 + b_{12}\Delta\dot{\phi} + c_{12}\Delta\phi = Ci_s, \quad (32)$$

$$I_2\ddot{\phi}_2 + b_2\dot{\phi}_2 - b_{12}\Delta\dot{\phi} - c_{12}\Delta\phi = -M_n, \quad (33)$$

სადაც: $\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2$, $\Delta\dot{\phi} = \dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_2$;

ϕ_1 და ϕ_2 – ინერციის მომენტების I_1 და I_2 –ის მოძრაობათა კუთხური კოორდინატები მექანიკური ნაწილის ორმასიან მოდელში.

გარდაქმნილი სახით სისტემა (32-33) შეიძლება ჩაიწეროს სახით:

$$I_1\ddot{\phi}_1 + b_1\dot{\phi}_1 + b_{12}\Delta\dot{\phi}_1 + c_{12}\phi = Ci_s + b_{12}\dot{\phi}_2 + c_{12}\phi_2; \quad (34)$$

$$I_2\ddot{\phi}_2 + b_2\dot{\phi}_2 + b_{12}\Delta\dot{\phi}_2 + c_{12}\phi_2 = b_{12}\dot{\phi}_1 + c_{12} - M_n. \quad (35)$$

უმეტეს რეალურ ელექტრომექანიკურ ამძრავებში წარმოდგენილია ისეთი არსებითი არაწრფივობები, როგორებიცაა ლუფტი და მშრალი ხახუნი, რომლებიც მრავალი კვლევის თანახმად ახდენენ არსებით ზემოქმედებას სისტემის დინამიკურ მახასიათებლებზე.

დრეკოს შემცველი მექანიკური ნაწილის მქონე ამძრავის ანალიზიდან, გამომდინარეობს, რომ მექანიკური ნაწილის მოძრაობა, როდესაც ლუფტი აღმოფხვრილია აღიწერება სისტემით (34–35) და ლუფტის მუშაობისას კი საქმე გვექნება ორ დამოუკიდებელ განტოლებებთან:

$$I_1\ddot{\phi}_1 + b_1\dot{\phi}_1 = Ci_s; \quad (36)$$

$$I_2\ddot{\phi}_2 + b_2\dot{\phi}_2 = -M_n. \quad (37)$$

ლუფტის გეომეტრიული მოდელის თანახმად მორგების პირობები განისაზღვრებიან დამოკიდებულებებით

$$\phi_2 = \phi_1 - b, \text{ როდესაც } \dot{\phi}_2 > 0;$$

$$\phi_2 = \phi_1 + b, \text{ როდესაც } \dot{\phi}_2 < 0,$$

როდესაც $|\varphi_2 - \varphi_1| < b$ განტოლებები (36) და (37) იყვანებიან დამოუკიდებლად და მეორე მასის თავისუფალი მოძრაობა განისაზღვრება φ_2 -ს წარმოებულების საწყისი მნიშვნელობებით. აქ b – არის ლუფტის სიდიდე.

განტოლებებთან (34, 35) ჰარმონიული გაწრფივების თეორიის საკითხების მისადაგების თვალსაზრისით ფორმალური მიდგომის თანახმად, აღნიშნული განტოლებები ჩაიწერებიან შემდეგი სახით:

$$I_1 \ddot{\phi}_1 + b_1 \dot{\phi}_1 + b_{12} \dot{\phi}_1 + c_{12} \varphi = C i_{\pi} + F_{\pi}(\dot{\phi}_2, \varphi_2), \quad (38)$$

$$I_2 \ddot{\phi}_2 + b_2 \dot{\phi}_2 + F_{\pi}(\dot{\phi}_2, \varphi_2) = b_1 \dot{\phi}_1 + c_{12} \varphi_1 - M_{\pi}. \quad (39)$$

აქ $F_{\pi}(\dot{\phi}_2, \varphi_2)$ – ლუფტით განსაზღვრული არაწრფივობის პირობითი აღნიშვნა.

თავის მხრივ შეგვიძლია ჩავწეროთ:

$$F_{\pi}(\dot{\phi}_2, \varphi_2) = F_{\pi 1}(\dot{\phi}_2) + F_{\pi 2}(\varphi_2),$$

და შემდგომ არაწრფივობის $F_{\pi 1}(\dot{\phi}_2)$ და $F_{\pi 2}(\varphi_2)$ გაწრფივება შეგვიძლია განვახორციელოთ შესაბამისად ცნობილი დამოკიდებულებებისა:

$$F_{\pi 1}(\dot{\phi}_2) \approx \left[q(a) + \frac{q'(a)}{\omega_0} p \right] \varphi_2; \quad (40)$$

$$F_{\pi 2}(\varphi_2) \approx \left[q(a) + \frac{q'(a)}{\omega_0} p \right] \dot{\phi}_2, \quad (41)$$

სადა ც:

$$q(a) = \frac{1}{\pi} \left[\frac{\pi}{2} + \arcsin \left(1 - \frac{2b}{a} \right) + 2 \left(1 - \frac{2b}{a} \right) \right] \sqrt{\frac{b}{a} \left(1 - \frac{2b}{a} \right)}; \quad (42)$$

$$q'(a) = -\frac{4b}{\pi a} \left(1 - \frac{2b}{a} \right), \quad (43)$$

$x_2(t) \approx a \sin \omega_0 t$ და p – დიფერენცირების ოპერატორი.

ზემოაღნიშნულის თანახმად დავდივართ მექანიკური ნაწილის ჰარმონიულად გაწრფივებულ განტოლებებზე:

$$(A_{\varphi 12} s^2 + A_{\varphi 11} s + A_0) \varphi_1(s) = (B_{\varphi 2} s^2 + B_{\varphi 1} s + B_{\varphi 0}) \varphi_2(s) + C i_{\pi}(s); \quad (44)$$

$$(A_{\varphi 22} s^2 + A_{\varphi 21} s + A_0) \varphi_2(s) = (B_{\varphi 2} s + B_{\varphi 1} s + B_{\varphi 0}) \varphi_1(s) - M_{\pi}, \quad (45)$$

ნაშრომში აღნიშნულ მოდელთან ერთად შემუშავებულია სამმასიანი მექანიკური ნაწილის მქონე სისტემათა დინამიკური მოდელები. გაანალიზებულია მიღებული მოდელების შემდგომი კვლევის საკითხები.

თუ ნახ. 1 მოყვანილ სტრუქტურულ სქემაში დაქვემდებარებული რეგულირების სისტემის თანახმად ტექნიკური ოპტიმიზაციის მიხედვით გაწყობის შემთხვევაში დენის კონტურის გადამცემი ფუნქცია გამოისახება ასე.

$$W_{Kt}(s) \approx \frac{1}{K_t} \frac{1}{1 + 2\pi s}, \quad (46)$$

სადაც τ – ტირისტორული გარდამქმნელის დროის მუდმივაა.

საკვლევი სისტემის სინთეზისას ვისარგებლოთ $i(s)$ და $\Delta\varphi(s)$ კოორდინატების მიმართ უკუკავშირებით, რომლებიც სასურველი $\omega_2(t)$ კოორდინატის მიმართ გამოისახებიან ასე

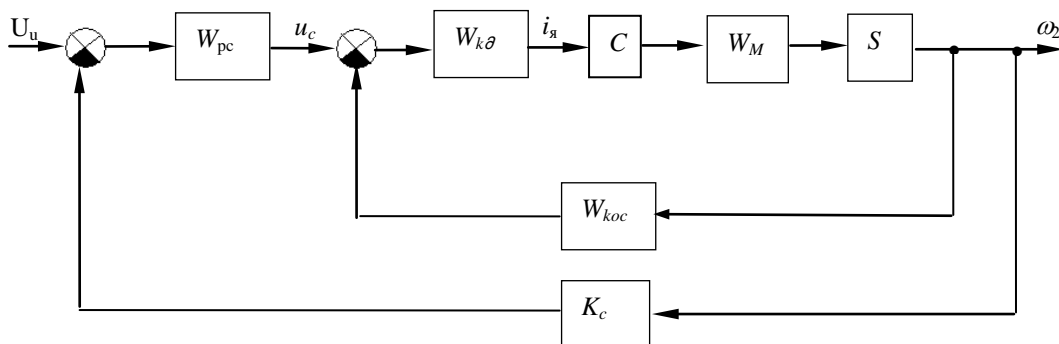
$$i_{j*}(s) = \frac{a_4 s^2 + a_3 s^2 + a_2 s}{b_{12} s + c_{12}} \omega_{2*}(s), \quad (47)$$

$$\Delta\varphi_*(s) = \frac{I_2 s}{b_{12} s + c_{12}} \omega_{2*}(s). \quad (48)$$

ამასთან ერთად ვიყენებთ ასევე სიჩქარის ПИ - რეგულატორის შერჩევის საკითხს გადამცემი ფუნქციით

$$W_{kc}(s) = K_{pc} \frac{1 + T_{pc}s}{T_{pc}s}.$$

მოცემული დამოკიდებულებების გათვალისწინებით საკვლევი სისტემის სტრუქტურული სქემა გამსხვილებული სახით მოცემულია ნახ. 2.



ნახ. 2. გამსხვილებული სტრუქტურული სქემა

ნახაზზე 2 საქმე გვავს ორკონტურიან სისტემასთან. შიგა კონტურის გადამცემი ფუნქცია გამოისახება დამოკიდებულებით

$$W_I(s) = \frac{W_{kT} c W_M s}{1 + W_{kT} c W_M s \cdot W_{koc}} = \frac{W_{np1*}(s)}{1 + W_{np1*}(s) W_{koc}} = \frac{B_I(s)}{A_I(s)} = \frac{\omega_2(s)}{U_c(s)}, \quad (49)$$

მთლიანი სისტემის გადამცემი ფუნქცია მიიღებს სახეს:

$$W_0(s) = \frac{W_I(s) \cdot W_{kc}(s)}{1 + K_c W_I(s) W_{kc}(s)}, \quad (50)$$

სადაც:

$$W_{kc}(s) = K_{pc} \left(\frac{1}{T_{pc} s} + 1 \right) = K_{pc} + \frac{K_{pc}}{T_{pc}} \frac{1}{s} = K_{pc} + K_{Tpc} \frac{1}{s} = \frac{K_{pc} s + K_{Tpc}}{s},$$

ანდა გარდაქმნების შემდეგ:

$$W_0(s) = \frac{D_{B1}(s) K_{pc} + (K_{\tau T} c b_{12}) s K_{Tpc} + K_{\tau T} c C_{12} K_{Tpc}}{A_{WI}(s) s + K_i A_{Bi}(s) s + K_{\Delta \varphi} A_{B\Delta \varphi}(s) s + K_c D_{B1}(s) K_{pc} + \frac{K_{\tau T} c C_{12} K_{Tpc}}{+ K_c D_{B2}(s) K_{npc}}}. \quad (51)$$

ვწერთ კოორდინატთა საწყის ტოლობას

$$\omega_2(s) \approx \omega_{2*}(s).$$

გაშლილი სახით გვექნება

$$\begin{aligned} & (K_{c*} D_{B1}(s) K_{pc} + K_{c*} D_{B2}(s) K_{Tpc}) (a_{k2} z_m^2 s^2 + a_{k1} z_m s + 1) = \\ & = A_{WI}(s) s + K_i A_{Bi}(s) s = K_{\Delta \varphi} A_{B\Delta \varphi}(s) s = K_c D_{B1}(s) K_{pc} + K_c D_{B2}(s) K_{Tpc}. \end{aligned} \quad (52)$$

სასურველი გადამცემი ფუნქცია შეგვიძლია ჩავწეროთ სახით:

$$W_0(s)_{\mathcal{K}} = \frac{1}{K_{c*}} \frac{1}{a_{k2} z_m^2 s^2 + a_{k1} z_m s + 1}, \quad (53)$$

სადაც

$$a_{k2} = 16\tau^2,$$

$$a_{k1} = 4\tau.$$

z_m – დროის მასშტაბური კოეფიციენტი, რომლის მეშვეობითაც ხორციელდება სასურველი პროცესის ვარირება.

მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის პროცედურების რეალიზაციისათვის შემდგომში გამოვიყენებთ წარმოსახვით სიხშირეთა მახასიათებლების აპარატს.

ტოლობა (63) შეგვიძლია ჩავწეროთ სახით:

$$\Phi_1(s)K_{pc} + \Phi_2(s)K_{Tpc} + \Phi_3(s)K_i + \Phi_4(s)K_{\Delta\varphi} = \Phi_0(s), \quad (54)$$

მიღებული დამოკიდებულების (54) თანახმად ვწერთ აპროქსიმაციათა l კვანძების $\delta = \delta_v$ (δ_v იღებს დადებით საგნობრივ მნიშვნელობებს) მიმართ პირობით განტოლებათა სისტემას

$$\Phi_1(\delta_v)K_{pc} + \Phi_2(\delta_v)K_{Tpc} + \Phi_3(\delta_v)K_i + \Phi_4(\delta_v)K_{\Delta\varphi} = \Phi_0(\delta_v), \quad (55)$$

$$v = 1, 2, \dots, l.$$

მე-5-ე ხარისხის მახასიათებელი განტოლებისათვის მდგრადობის ანალიზისათვის შეგვიძლია გამოვიყენოთ ლიენარ-შიპარის კრიტერიუმი, რომელიც ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$a_1 > 0; \quad a_2 > 0; \quad a_3 > 0; \quad a_4 > 0; \quad a_5 > 0;$$

$$\alpha(a_i) = a_1 a_2 a_3 - a_3^2 - a_1^2 a_4 + a_1 a_5 > 0; \quad (56)$$

$$\alpha_1(a_i) = (a_1 a_2 a_3 - a_3^2 - a_1^2 a_4 + a_1 a_5) a_4 - (a_1 a_3^2 - a_1 a_4 - a_1 a_3 + a_5) a_5 > 0. \quad (57)$$

აქვე შეგვიძლია ვისარგებლოთ უწყვეტი სტაციონარული სისტემის დინამიკური მდგრადობის ანალიზის ცნობილი მეთოდიკით.

აღნიშნული მეთოდიკის თანახმად განიხილავენ დამხმარე პარამეტრებს λ_i , რომლებიც გამოისახებიან დამოკიდებულებებით:

$$\lambda_i = a_{i-1} a_{i+2} / a_i a_{i+1}, \quad i = 2, n-2. \quad (58)$$

ჩვენ შემთხვევაში გვექნება:

$$\lambda_1 = a_0 a_3 / a_1 a_2;$$

$$\lambda_2 = a_1 a_4 / a_2 a_3;$$

$$\lambda_3 = a_2 a_5 / a_3 a_4.$$

საკვლევი სისტემის მდგრადობისათვის საკმარისია სრულდებოდეს პირობა:

$$\lambda_i < \lambda^* = 0,465, \quad \forall i = 1, \overline{n-2};$$

საკვლევი სისტემის სინთეზის შემოთავაზებული მეთოდის აპრობაციისათვის ვატარებთ კონკრეტულ საანგარიშო გამოკვლევებს. სისტემისათვის აღებული იქნა შემდეგი საწყისი პარამეტრები:

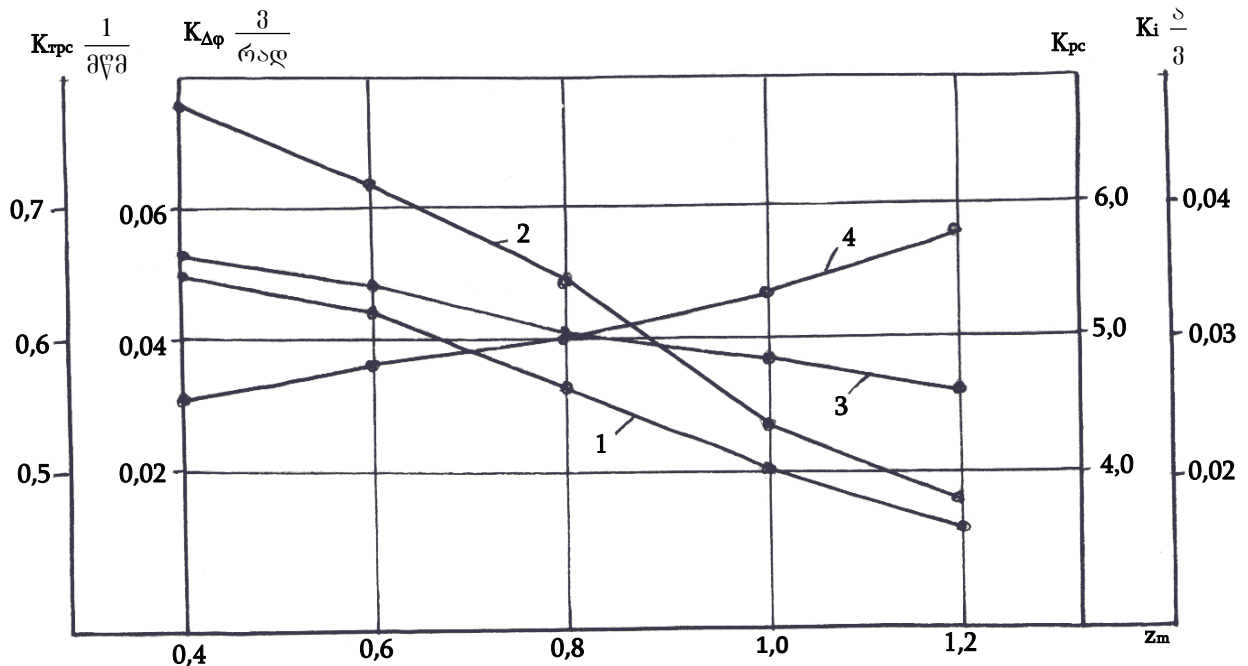
$$R_j = 0,07 \text{ ომ}, L_j = 0,32 \cdot 10^{-3} \text{ ჰნ}; c = 0,34 \frac{\text{ნმ}}{\text{ამპ}}; K_n = 7,5, \tau = 3,3 \text{ წმ}; \tau = 3,3 \text{ მ/წმ};$$

$$I_1 = 0,01 \text{ კგმ}^2; I_2 = 0,0025 \text{ კგმ}^2; C_{12} = 250 \frac{\text{ნმ}}{\text{რად}}; \beta_1 = \beta_2 = 0,01 \text{ და}$$

$$\beta_{12} = 0,008 \frac{\text{ნმ წმ}}{\text{რად}}.$$

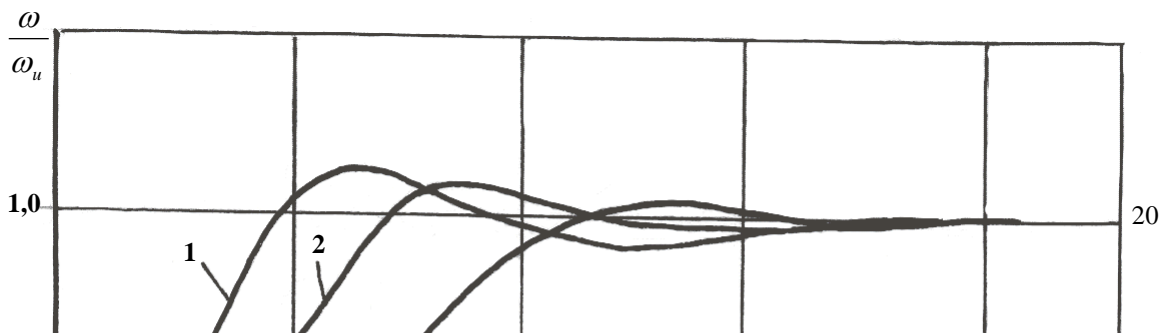
ჩატარებული საანგარიშო კვლევების შედეგად ნახ. 3 მოყვანილია სინთეზირებული პარამეტრების მნიშვნელობები ფუნქციონალურ კავშირში z_n მასშტაბურ კოეფიციენტთან.

თვით გარდამავალი პროცესების მრუდები კი მოყვანილია ნახ. 4. აქ მრუდები 1, 2 და 3 შეესაბამებია მასშტაბური კოეფიციენტის მნიშვნელობებს: 0,4, 0,6, 1,0.



ნახ. 3. სინთეზის შედეგად მიღებული დამოკიდებულებები:

$$1 - K_{\Delta\phi}(z_m), 2 - K_{pc}(z_m), 3 - K_i(z_m)$$



ნახ.4. გარდამავალი პროცესების მრუდები

$$1 - z_m = 0,4; \quad 2 - z_m = 0,6; \quad 3 - z_m = 1,0.$$

დინამიკური მდგრადობის ანალიზთან დაკავშირებით ნახ. 4 მოყვანილი პროცესებისათვის, როდესაც $z_m = 0,6$ λ კოეფიციენტების თანმიმდევრობები შესაბამისად აისახებიან მნიშვნელობებით:

$$\lambda_3 = 0,31, \quad \lambda_2 = 0,38, \quad \lambda_1 = 0,454.$$

იმ შემთხვევაში კი როდესაც $z_m = 0,4$ გვაქვს თანმიმდევრობები

$$\lambda_3 = 0,199, \quad \lambda_2 = 0,28, \quad \lambda_1 = 0,311.$$

მდგრადობის განსაზღვრისას ლიენარ–შიჰესის მეთოდით მივიღებთ:

$$\alpha(a_i) = 0,07 \text{ და } \alpha_1(a_i) = 0,031, \text{ როდესაც } z_m = 0,6;$$

$$\alpha(a_i) = 0,051 \text{ და } \alpha_1(a_i) = 0,029, \text{ როდესაც } z_m = 0,4.$$

დასკვნები

1. თანამედროვე საჩარხო ტექნოლოგიური სისტემების ტექნოლოგიური პროცესების ორგანიზაციის თავისებურებების, სტრუქტურული აგებისა და მათი შემდგომი განვითარების ტენდენციების მიმართ ჩატარებული ანალიზი მიგვითითებს, რომ მათი სტრუქტურული მრავალსახეობის და მოქნილობის ხარისხის ზრდასთან ერთად ფართოვდება ტექნოლოგიური მანქანების შემადგენლობა – წარმოიშვებიან ახალი ქვესისტემები და იერარქიის სტრუქტურული დონეები, იზრდება ალტერნატიული

ვარიანტების რაოდენობა ტექნოლოგიური მანქანების პროექტირების ერთიანი პროცესის გამოვლენას ემსახურება სისტემური მიდგომა. მისი დახმარებით განისაზღვრებიან პროექტირების ამოცანები და მათი ამოხსნის შესაძლო მეთოდები. პროექტირების პროცესების ეტაპები წარმოგვიდგებიან ინტერაქტიული იტერაციული პროცედურებით, რომლებშიც საპროექტო გადაწყვეტილებების ანალიზის ფუნქციას ასრულებენ მათემატიკური მოდელები და მათი გამოყენება მიმართულია სტრუქტურული და პარამეტრული ოპტიმიზაციის ამოცანების ამოხსნაზე როგორც ტექნოლოგიური პროცესების, აგრეთვე განხილვადი ტექნოლოგიურ სისტემების ტექნოლოგიურ მოწყობილობებთან მიმართებაში. ამ ოპტიმიზაციური ამოცანების ამოხსნა აგრეთვე დაკავშირებულია ოპტიმიზაციის კრიტერიუმების ტექნოლოგიური მოწყობილობების ტექნოლოგიური, კონსტრუქციული და საექსპლუატაციო მაჩვენებლებთან დამაკავშირებელი მათემატიკური კანონზომიერებების ეფექტურ გამოყენებასთან.

ამ ოპტიმიზაციური ამოცანების ამოხსნა კიდევ პირდაპირ კავშირია ისეთ მათემატიკურ კანონზომიერებების გამოყენებასთან, რომლებიც აკავშირებენ ოპტიმიზაციის კრიტერიუმებს ტექნოლოგიური მოწყობილობების ტექნოლოგიურ, კონსტრუქციულ და ექსპლუატაციურ მაჩვენებლებთან.

2. ეფექტურობის კრიტერიუმების (მწარმოებლურობის და ეკონომიკური ეფექტურობის) ხარისხობრივი ანალიზი გვიჩვენებს, რომ უკანასკნელნი თავის მხრივ იმყოფებიან მნიშვნელოვან კავშირში მთლიანობაში ტექნოლოგიური სისტემის საიმედოობასთან, რომელიც თავის მხრივ განისაზღვრება როგორც მექანიზმების, აგრეთვე მჭრელი იარაღების საიმედოობებით, მათი ალბათობითი მაჩვენებლებით საწარმოო ექსპლუატაციის პროცესში.
3. ეფექტურობის კრიტერიუმებთან ურთიერთკავშირში მყოფი ძირითადი კანონზომიერებების ანალიზის შედეგად შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ

თუ ჩარხ-ავტომატებთან და ავტომატურ ხაზებთან მიმართებაში უაღრესად აქტუალურია მრავალსაიარაღო დამუშავებასთან დაკავშირებული საკითხები, ავტომატიზებული ტექნოლოგიური მანქანების და მანქანათა სისტემების ფართო სპექტრთან მიმართებაში. ერთ-ერთი უაღრესად აქტუალურია ტექნოლოგიური პროცესების ავტომატური რეგულირებისა და მართვის სისტემათა შემდგომი სტრუქტურული და კონსტრუქციული ოპტიმიზაციის ამოცანები, რომლებიც პირდაპირ კავშირში არიან. ავტომატიზირებული ამძრავების გაანგარიშების შემდგომ ოპტიმიზაციურ მეთოდების გამოყენებასთან.

4. ავტომატური საჩარხო სისტემების საიმედოობისა და ეფექტურობის ოპტიმიზაციური გაანგარიშებების ზოგადი თეორია იგება თანაეტაპურ გადასვლაზე საანგარიშო ანალიზური მეთოდებიდან პროცესების შემდგომ იმიტაციურ მოდელირებაზე. ანალიზური მოდელების გამოყენებით ხორციელდება პარამეტრების პირველადი შერჩევა. ვლინდება ოპტიმალურთან ახლო მყოფი პარამეტრების არე მათი შემდგომი დაზუსტებით სტატისტიკური მოდელების გამოყენებით. უკანასკნელთა მიმართ შესაძლოა გამოყენებული იქნას წრფივი მრავალფაქტორული ანალიზის მეთოდები საძიებელი პარამეტრების წრფივ ნამატთა არეში.
5. ანალიზმა გვიჩვენა, რომ თუ ხისტი ჩარხთაშორისი კავშირებიანი ავტომატიზებული საჩარხო სისტემებისათვის ანალიზური მოდელების აგების მეთოდოლოგია პრინციპული მიდგომით შეიძლება ჩაითვალოს გადაჭრილად, მოქნილი ჩარხთაშორისი კავშირებიან სისტემებთან (უფრო ფართო გაგებით ნაკადური ხაზებისათვის) არსებული მიდგომები ანალიზური მოდელების აგების მხრივ შემოიფარგლება უმარტივესი სისტემებით და მეტად რთული და შემდგომი ოპტიმიზაციური გამოთვლების მიმართ მოუხერხებელი მათემატიკური დამოკიდებულებებით. მეორეს მხრივ ტექნოლოგიური პარამეტრების ოპტიმიზაციური მოძიების თვალსაზრისით სინთეზის მეთოდოლოგია ჩარხი-

ავტომატებისაგან განსხვავების ავტომატურ ხაზებთან მიმართებაში მოითხოვს შემდგომ სრულყოფას სინთეზის ეფექტურობის ამაღლების თვალსაზრისით.

6. გამოვლენილია, რომ მზადყოფნის კოეფიციენტების და სისტემის მუშაობათა ცალკეული დროის ეტაპების გასაშუალებებული კოეფიციენტების გამოყენებით მოქნილი ჩარხთაშორისი კავშირებიანი სისტემებისათვის შეგვიძლია მივიღოთ მიახლოებითი სახის ანალიზური მოდელების აგებისათვის საჭირო კანონზომიერებები. ავტომატურ ხაზებთან მიმართებაში გამოვლენილია ოპტიმიზაციური სინთეზის პროცედურების ჩატარებისათვის საჭირო ახალი ორიგინალური კანონზომიერებები.

განხილვაში შემოტანილია მზადყოფნის კოეფიციენტების მოდიფიცირებული გამოსახულებები, რომლებიც თავის მხრივ წარმოადგენენ ჩარხთაშორისი დამაგროვებლების მუშაობით განპირობებული უმტყუნებლო მუშაობათა დაყვანილი მნიშვნელობების ფუნქციებს; მიღებულია მწარმოებლურობის ნაკლებად რთულიდან უფრო რთული სტრუქტურულ მოდელებზე გადასვლისათვის საჭირო რეკურენტული კანონზომიერებები.

შემუშავებულია აპროქსიმაციული მოდელირების კანონზომიერებები წარმოადგენენ საფუძველს მოქნილი ჩარხთაშორისი კავშირების მქონე საჩარხო ხაზების პროექტირებისათვის.

7. მრავალსაიარაღო ჩარხებისათვის და ხისტი ჩარხთაშორისი კავშირებიანი საჩარხო ხაზებისათვის შემოთავაზებულია მზადყოფნის კოეფიციენტისა და მწარმოებლურობის მათემატიკური დამოკიდებულებები შემთხვევებისათვის: 1) როდესაც იარაღების, მექანიზმებისა და მოწყობილობები მიმართ კი გამოიყენება მწყობრიდან გამოსვლასთან დაკავშირებული მომსახურების სქემა.

2) როდესაც მჭრელი იარაღების მიმართ გამოიყენება პარალელური და მექანიზმებისა და მოწყობილობების მიმართ კი მწყობრიდან გამოსვლასთან დაკავშირებული მომსახურების სქემა. ეს დამოკიდებულებები გამოსახულნი არიან ცხად ფუნქციონალურ

კავშირში დამუშავების რეჟიმებთან და წარმოდგენენ შემდგომი ოპტიმიზაციური გაანგარიშებების თეორიულ საფუძველს.

8. ავტომატიზებულ ჩარხებზე და საჩარხო კომპლექსებზე ტექნოლოგიური პროცესების ეფექტურობის შემდგომი ამაღლების ამოცანებთან დაკავშირებით გაანალიზებულია საკვლევი ავტომატიზებული მანქანათა ტექნოლოგიური კომპლექსების ამძრავთა ავტომატიზირებული სისტემების სტრუქტურულ და კონსტრუქციული ამაღლების საკითხები, დინამიკური კვლევის მეთოდები და მეთოდიკები.

ანალიზი გვიჩვენებს, რომ თანამედროვე ავტომატიზირებულ ჩარხებში და საჩარხო კომპლექსებში ფართო გამოყენება ჰპოვეს ამძრავთა მრავალკონტურიანმა ელექტრომექანიკურმა სისტემებმა, რომელთა შემდგომი სრულყოფა მოითხოვს, როგორც სისტემათა ცალკეულ ელემენტებში მოქმედი მოვლენების უფრო ადეკვატურ გათვალისწინებას, აგრეთვე სტრუქტურული და პარამეტრული სინთეზის ოპტიმიზაციური მეთოდები შემდგომ სრულყოფას.

9. ცნობილი კვლევების ხარისხობრივი და რაოდენობრივი ანალიზი გვიჩვენებს, რომ დინამიკური მოდელირებისა და კვლევების ეფექტურობის ამაღლების თვალსაზრისით საჭიროა სისტემების მრავალმასიანი მექანიკური ნაწილის დრეკადი კავშირების და უფრო გაღრმავებული მიდგომით აგრეთვე გადაცემათა კინემატიკურ რგოლებში არსებული ღრეჩოების გათვალისწინება. უკანასკნელი კი თავის მხრივ დაკავშირებულია მექანიკური ნაწილის მოდელირებისა და კვლევის მეთოდების შეთანწყობასთან მთლიანი ელექტრომექანიკური სისტემის მოდელირებისა და კვლევის საკითხებთან.

10. საკვლევი სისტემების ცალკეული ელემენტების მათემატიკური მოდელების აგების ძირითადი მიდგომების, შემუშავებული მოდელების და მათი შეთანწყობის საკითხების გათვალისწინებით აგებულია მთლიან სისტემათა მათემატიკური მოდელები. მექანიკური ნაწილი მოდელირების საკითხის გადაჭრაში მთლიანი სისტემის სტრუქტურასთან შეთანწყობაში გამოყენებულია აპროქსიმაციულ მოდელებზე გადასვლის

ორიგინალური მეთოდოლოგია, აგებული წარმოსახვით სიხშირეთა მოდიფიცირებული მახასიათებლების გამოყენებაზე.

11. სტრუქტურული და პარამეტრული ოპტიმიზაციის შემდგომი ამოცანების ამოხსნის მიზნით აგებულია მუშა ორგანოს კუთხური სიჩქარის სტაბილიზაციის ამძრავთა სისტემის დინამიკის მათემატიკური მოდელები.
12. ამძრავთა განხილვადი ელექტრომექანიკური სისტემების მათემატიკური მოდელირების საკითხების ანალიზის საფუძველზე ნაჩვენებია, რომ მექანიკური ნაწილის აპროქსიმაციული ორ– და სამმალიანი მოდელების აგების შემუშავებული მეთოდოლოგია ეფექტურად გამოყენებადია არა მარტო გარდამავალი პროცესების ანალიზისათვის დრეკადრგოლებიანი მექანიკური ნაწილის მქონე სისტემებში, არამედ კინემატიკურ წყვილებში არსებული ღრეჩოებით განპირობებული არაწრფივობის გათვალისწინებისათვის.

ჩატარებული კვლევების შედეგად დასაბუთებულია მიზანშეწონილობა და ჰარმონიული გაწრფივების კანონზომიერებების გამოყენებით ჩაქრობად პროცესებთან აპროქსიმაციულ მოდელებთან მიმართებაში აგებული იქნა მექანიკური ნაწილის ჰარმონიულად გაწრფივებული განტოლებები და აგრეთვე საწყისი მათემატიკური მოდელები, რომლებიც თავის მხრივ შეადგენენ საკვლევი დინამიკური სისტემების მეთოდოლოგიური ანალიზის საფუძველს „ზოგადი ამონახსნისათვის მაღალსიშირული მდგენელის გამოყოფით“.

13. განსახილველი დინამიკური სისტემების სტრუქტურულ–პარამეტრული სინთეზი შემდგომი პრაქტიკული რეალიზაციის მიზნით წარმოსახვით სიხშირეთა მახასიათებლების აპარატის გამოყენებით აგებულია გამსხვილებული გარდაქმნილი სტრუქტურული სქემები, რეგულირებადი და რეალიზაციისათვის სასურველი კოორდინატების მიახლოებითი ტოლობის მათემატიკური მოდელები ცალკეული მდგენელების ჯამის სახით, რომლებშიც წრფივი მამრავლები (კოეფიციენტების) სახით

წარმოდგენილია განსახილველი სისტემის სინთეზირებადი კრიტერიული პარამეტრები. ამის საფუძველზე განხორციელებულია მრავალპარამეტრული სინთეზის პროცედურათა მიმდევრობითი რეალიზაცია შემდეგი სქემით: საძიებელ პარამეტრებთან მიმართებაში წრფივი პირობითი და შემდგომ ნორმალური განტოლებების სისტემების შედგენა, დინამიკური მდგრადობის შემდგომი შემოტანით სასურველი კოორდინატების გამოსახულებებში არგუმენტების სახით არსებული დროის მასშტაბური კოეფიციენტის ვარიაციით.

14. მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის თეორიის შემუშავებული ზოგადი სქემის და აგრეთვე რეგულირებადი კოორდინატების სასურველებთან ინტეგრალური მიახლოვების შემადგენელი მათემატიკური მოდელების და პროცედურების გამოყენებით იმავდროული მდგრადობის პირობის შემოტანით აგებულია პარამეტრული სინთეზის ამოცანების ამოხსნის ალგორითმები.

საკვლევი მრავალკონტურიანი სისტემების მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით შემუშავებული სინთეზის თეორიის გარკვეული კანონზომიერებების და უტყუარობის გამოვლენისათვის ნაშრომში რეალიზებულია საკვლევი ელექტრომექანიკური სისტემის საანგარიშო გამოკვლევების გარკვეული წრე.

15. გაანგარიშების შედეგებმა გვიჩვენეს, რომ შემუშავებული თეორია საშუალებას იძლევა ჩავატაროთ სინთეზირებადი პარამეტრების მიზანდასახული შერჩევა, მიღებული შედეგების რაოდენობრივი მაჩვენებლები საკმაოდ ახლოს არიან სასურველ პროცესებთან.

დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია შემდეგ შრომებში:

1. Мchedlishvili Т.Фю, Романадзе И.Р., Тавадзе А.Т., Хартишвили И.А., Чхолария Н.Е. К вопросу синтеза электромеханических следящих приводов по заданным переходным процессам // Транспорт и машиностроение, Тбилиси, № 1(26), 2013. с. 84-89.
2. Мchedlishvili Т.Ф., Чхолария Н.Н., Кобесашвили Н.И., Хартишвили И.А. К синтезу электромеханического привода стабилизации угловой

- скорости по заданным переходным процессам // Транспорт и машиностроение, Тбилиси, № 1(26), 2013, с. 39-47.
3. Мchedlishvili Т.Ф., Чхолария Н.Н., Романадзе И.Р., Балахадзе Д.Д. К вопросу динамических исследований электромеханических систем приводов с учетом упругостей и зазоров в механической части // Транспорт и машиностроение, Тбилиси, № 1(23), 2012, с. 117-123.
 4. Зубиашвили Г.М., Амколадзе Х.М., Чхолария Н.Н., Анджапаридзе Т.Н. К динамическому анализу двухкоординатной следящего привода копировального станка // Транспорт и машиностроение. Тбилиси, №2(24), 2012. с. 46-52.
 5. Мchedlishvili Т.Ф., Гордиенко Б.И., Краплин М.А., Деметрашвили К.Г., Чхолария Н.Н. Повышение эффективности производственных процессов на автоматизированных станках и станочных комплексах. Комитет ИФТоММа Грузии. Тбилиси. 2013, 206 с.
 6. Чхолария Н.Н., Мchedlishvili Т.Ф., Мобадзе В.Ш., Гвиниашвили З.М., Кашибадзе М.В. К оптимизации производительности производственного процесса на многоинструментальных станках и станочных комплексах // Транспорт и машиностроение. Тбилиси, № 3(31), 2014. с. 80-86.
 7. Мchedlishvili Т.Ф., Романадзе И.А., Диасамидзе Т.А., Чхолария Н.Н. К вопросу оптимизационного синтеза электромеханических следящих приводов по заданным переходным процессам / The international scientific conference of Georgia, September 19-21, Tbilisi, 2012, с. 199-204.

Abstract

Modern machine building is characterized by problem of improvement of production efficiency and production quality that with development of having increased technical characteristics individual machines and machine systems and expansion of their scope, primarily is based on the intense factors of production: increasing of efficiency of labor productivity and all kinds of activities, saving in facilities, resources and labor tools.

In connection with this aim of the work is presented in the development of automated machine tools systems (automated machine tools, machine tools lines and complexes) functional and structural development, productivity optimization calculation, dynamic modeling of these systems automated driving and optimization of research methods and methodology, with a focus for improvement of design solutions quality and effectiveness of scientific validity.

To achieve the intended purposes in the research objectives are included:

- The analysis of current automated and automatic technological machines systems composition and structure, influence of raised requirements and assessment of the functionality characteristics;

- Construction of functioning mathematical models related to revealing of main objectives of laws and executed by multi-tool machine tools systems and automatic lines manufacturing processes performance indicators and cutting tools, machinery and equipment operational reliability;
- Development of technological parameters calculation methods and techniques for maximum productivity condition for a system, in that are used the maintenance scheme related to cutting tools, machinery, and equipment breakdowns moments;
- Revealing of basic mathematical dependencies foreexpression of productivity, construction of the operation models, development of research methods and techniques. For functionally relation of cutting tools, machinery, and equipment reliability characteristics with systems, in which for cutting tools are used parallel mechanisms and related to the devices failure maintenance scheme;
- Mathematical modeling of the dynamics and development of the synthesis methodology for the transition process according to the containing elastic-links mechanical part working body for the stabilization of angular velocity in electromechanical drive system;
- Mathematical modeling of drives electromechanical systems and research with taking into account elasticity and clearances in the mechanical part of the drives.

In the introduction part of the thesis is justified actuality of dissertation work, conducted review of widely used in a practice automated and automatic machine tools systems.

Are considered related to the analysis of technology machine systems (automated lines, flexible manufacturing modules, flexible automatic lines, automatic sites, etc.) structural construction features issues. Are analyzed their application scopes and some of the principal approaches to their calculation and design of systems widely used in machine tools drives automated systems functional capabilities and characteristics further improvements have been carried out review of issues of their modeling and research. In particular are analyzed the modeling of mechanical part, as well as the whole drive systems design and research methods and methodologies.

In the main part of work is analyzed the fundamentals of machine tools and machine tools systems capability and reliability, the basic laws of the reliability theory and their mathematical relations. It is shown that the calculation of productivity in terms of reliability is based on probabilistic functioning laws. Are analyzed automated lines failure and the running work probability calculation methods.

Is studied the necessary approaches for describe the having machine tools collectors lines productivity and reliability.

Is proposed rather required for first approximation researches methodology for defining of mathematical relations construction of readiness coefficients.

Are developed methodological fundamentals for mathematical expressions construction of automated machine tools productivity in functionally relation,

with tools and mechanisms reliability parameters, which in turn are represented by implicit functional relation to the technological parameters of the studied systems.

Were obtained expressions of readiness factor and productivity with respect of automatic machine (in particular vertical gangspindle turning machines), as well as automatic lines. In turn the mentioned machine tools systems perform the organization of multi-tool processing technological process according to the following schemes:

1. Change the tools and maintenance of mechanisms, according to their failure;
2. The parallel change of tools and maintenance of mechanisms according to their failure.

The obtained mathematical dependencies makes it possible to achieve the optimization selection of technological parameters. In the work also is carried out in connection with the mentioned specific reporting studies.

Then are considered the related to widely used in electromechanical drive systems of machine tools main movements and supply kinematical chains tasks. The qualitative indicators of these systems make significant impact on efficiency of operation of machine-tools technological systems.

With taking into account the models of individual elements are constructed dynamic models of systems, dynamic structural schemes and transfer functions. At dynamic modeling are considered systems options for the mechanical part with taking into account the elasticity and existence of clearances.

Are obtained the original mathematical models:

Is considered with extended form accordingly of transfer processes of systems under study the individual stages and procedures of the methodology of synthesis.

In the terms of methodology of synthesis: were selected the desired for systems process expressions; were obtained conditional and inadequate systems of equations, written down with respect to the desired parameters, are stated expressions for the normal simultaneous equations solutions and required for the dynamic analysis laws.

For the approbation of established research procedures were conducted engineering studies respect to the having certain initial parameters system.

The conducted studies have shown the practical effectiveness of developed engineering synthesis theory of systems under study in terms of the desired processes proximity and also their characteristics in terms of their further improvement.